

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

ZEFEKTIVNĚNÍ OBRÁBĚNÍ GRAFITU

GRAPHITE MACHINING REENGINEERING

Vedoucí bakalářské práce:

Student:

doc. Ing. Vladimír Vrba,CSc.

Pokorný David

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **David Pokorný**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Zefektivnění obrábění grafitu
Graphite Machining Reengineering

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění grafitu.
3. Návrh nové technologie.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [2] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] VASILKO, K. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
- [4] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [5] TICHÁ, Š. *Strojírenská metrologie - část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou (bakalářskou) práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové (bakalářské) práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23. 5. 2011

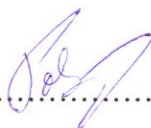


Pokorný David

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 23.5.2011



.....

Pokorný David

Adresa trvalého pobytu:

Pokorný David

Palackého 8

789 01 Zábřeh

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

POKORNÝ, D. *Zefektivnění obrábění grafitu*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže VŠB-Technická univerzita Ostrava, Bakalářská práce: Doc.Ing.Vrba Vladimír CSc.

Tato bakalářská práce je zaměřena na obrábění grafitových součástí zvolenými nástroji k obrábění grafitu. Grafit se ve firmě BONAR a.s. používá jako topné tělísko do vysokotlaké syntézy. Cílem práce je nahrazení stávající technologií obrábění za návrh nové technologie. Tato nová technologie by měla zajistit efektivnější výsledky při obrábění. V následujících kapitolách jsou uvedeny provedené zkoušky jednotlivých nástrojů s uvedením jejich dosažených výsledků. V závěru práce je uvedeno technicko-ekonomické zhodnocení testů.

ANNOTATION BACHELORS

POKORNÝ, D. *Graphite machining reengineering*. Ostrava: Department,of Machining and Assembly VŠB – Technical University of Ostrava, Bachelor's Dissertation: doc.Ing. Vrba Vladimír Csc.

This bachelors thesis is aimed at cutting the graphite components selected tools for machining graphite. Graphite in the company BONAR a.s. used as a heating element in the high-pressure synthesis. Aim is to replace the current state of working for the design of new technologies. This new technology should provide effective results when machining. The following chapters are presented by testing different instruments with their achievements. In conclusion, the technical-economic evaluation tests.

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. ÚVOD | 8 |
| 2. CHARAKTERISTIKA BONAR A.S. ŠUMPERK | 9 |
| 2.1 BONAR a.s | 9 |
| 2.2 Popis sortimentu vyráběných výrobků | 10 |
| 3. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU | 12 |
| 3.1 Grafit | 12 |
| 3.2 Využití grafitu | 15 |
| 3.3 Elektrografit | 15 |
| 3.3.1 Technologie výroby | 15 |
| 4. PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ GRAFITU | 17 |
| 4.1 Technologie soustružení | 19 |
| 4.2 Technologie vrtání | 21 |
| 5. NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE | 23 |
| 5.1 Obrábění grafitové součásti | 23 |
| 5.2 Charakteristika stroje | 25 |
| 5.3 Použité nástroje | 27 |
| 5.3.1 Nástroje z rychlořezné oceli | 27 |
| 5.3.2 Nástroje z SK | 29 |
| 5.3.3 Nástroje s připájeným PKD | 32 |
| 6. DISKUZE EXPERIMENTŮ | 36 |
| 6.1 Zkouška nástrojů | 36 |
| 7. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 39 |
| 7.1 Výpočet nákladů zkoušených nástrojů | 39 |
| 8. ZÁVĚR | 45 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 46 |
| SEZNAM PŘÍLOH | 47 |

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

| <i>ZKRATKA</i> | <i>VÝKLAD</i> | <i>JEDNOTKA</i> |
|-----------------------|---|-------------------------|
| CVD | Chemical vapou deposition – chemické napařování | |
| HSS | výkonná rychlořezná ocel | |
| HRC | Stupeň tvrdosti podle Rockwella | |
| PKD | Polykrystalický diamant | |
| PVD | Physical vapou depositon – fyzikální napařování | |
| R | Rádus výměnné destičky | [mm] |
| RO | Rychlořezná ocel | |
| SK | Slinutý karbid | |
| VBD | Výměnná břitová destička | |
| a_p | Hloubka řezu | [mm] |
| f_z | Posuv na zub | [mm] |
| v_c | Rychlost hlavního řezného pohybu | [m.min ⁻¹] |
| v_e | Řezná rychlost | [m.min ⁻¹] |
| v_f | Posuvová rychlost | [mm.min ⁻¹] |
| κ_r | Úhel nastavení řezné hrany | [°] |

1. ÚVOD

Tato bakalářská práce je zhotovena ve spolupráci s firmou BONAR a.s., která mi poskytla veškeré informace o jejich stávající technologii obrábění grafitu. Na základě těchto údajů byla navržena nová technologie obrábění, která by měla zajistit snížení nákladů na obrábění a zjednodušení obráběcích procesů. Hlavním cílem této práce je porovnání řezných nástrojů a následné technicko-ekonomické zhodnocení.

V úvodu práce je náhled do výroby firmy BONAR a.s., která se zabývá nejen obrábění grafitu, ale také je výrobcem vysoce tvrdého materiálu-kubického nitridu bóru technologií vysokotlaké syntézy. V další části je obecně charakterizován obráběný materiál grafit, jeho výskyt na území České republiky a technologie výroby. Dále pak proces soustružení a vrtání, který se používá pro zhotovení grafitové součásti.

V dalším bodě je uvedena nová technologie, ve které je navržena metoda obrábění vnitřního průměru. Jsou zde popsány materiály řezných nástrojů, které jsou zvoleny pro experiment. Také je charakterizováno strojní vybavení, na kterém budou prováděny veškeré zkoušky.

V následující části je provedena zkouška zvolených nástrojů ve dvou metodách obrábění a výsledky experimentů, které byli prováděny ve výrobě. Ve finální fázi následuje technicko-ekonomické zhodnocení zkoušek a nakonec závěrečné shrnutí celé bakalářské práce.

2. CHARAKTERISTIKA BONAR A.S. ŠUMPERK

2.1 BONAR a.s.



Obr. 1 Hlavní budova firmy Bonar a.s.[1]

Společnost BONAR a.s. vznikla v roce 1997 a patří mezi světové výrobce vysoce Tvrdého materiálu – kubického nitridu bóru, technologií vysokotlaké syntézy. Hlavním předmětem podnikání byla a je i nyní výroba nástrojů ze supertvrdých materiálů – kubického nitridu boru a polykrystalického diamantu. Mezi konkurenty společnosti BONAR a.s. patří General Electric, USA DEE BEER Jižní Afrika, SUMITOMO Japonsko. Výrobní technologií společnosti je výroba výrobků pomocí vysokotlaké syntézy, broušení na CNC strojích, vakuové a indukční pájení a v neposlední řadě i řezání laserem. Společnost BONAR a.s. je držitelem certifikátu ČSN EN ISO 9001 : 2001 od roku 2007 a byla certifikována certifikačním auditem společnosti TÜV SÜD Česká republika.

Společnost BONAR a.s. spolupracuje od roku 1997 s Vysokou školou chemicko-technologickou v Praze. Je také navázána spolupráce s Ústavem fyziky plazmatu AV ČR a Výzkumným a zkušebním a leteckým ústav, a.s. Spolupráce je v oblasti nových materiálů a testování a vyhodnocování vzorků.[1]

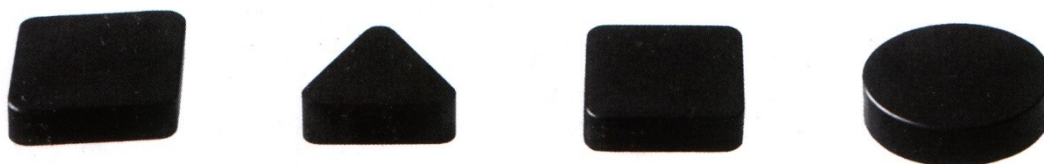
2.2 Popis sortimentu vyráběných výrobků



Obr. 2 Ukázka výrobků firmy Bonar a.s.[1]

Vyráběný materiál – obchodní název **BORONID** – má vynikající výkonnost, vykazuje mimořádnou tvrdost jak za studena, tak i při extrémních teplotách (1300°C). Jeho velká odolnost proti abrazivnímu opotřebení a dobrá chemická stabilita jej předurčují především pro obrábění materiálů tepelně zušlechtěných t.j. s minimální tvrdostí cca od 45 HRC. S břity z **BORONIDu** se dosahuje vynikající kvality obráběného povrchu, která tak ze soustružení činí ekonomicky výhodnou alternativu k obrábění broušením.

BONAR a.s. vyrábí z **BORONIDu** destičky v monolitním a osazeném provedení. Destičky jsou vyráběny ve standardním provedení (tvar – kruh, čtverec, trojúhelník a kosočtverec). Po dohodě lze vyrobit i další typy destiček.[1]



Obr. 3 Destičky ve standardním provedení [1]

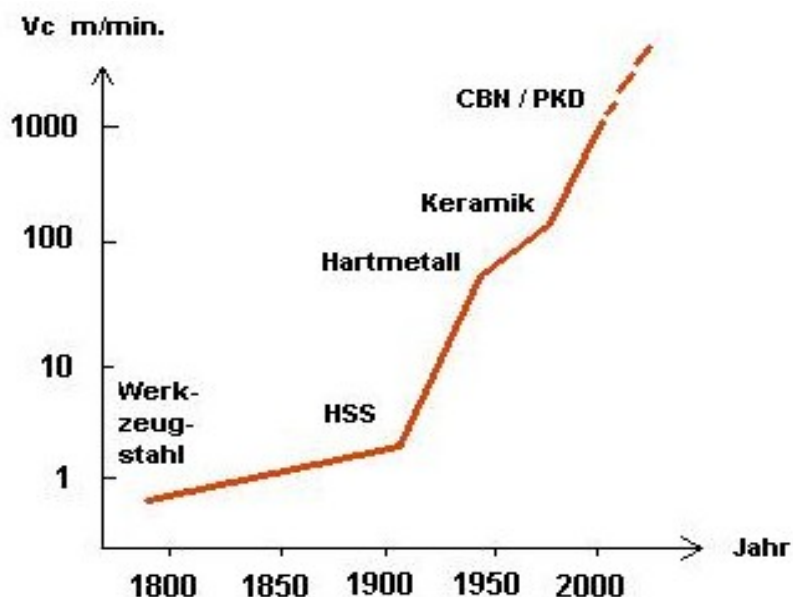
BONAR a.s. provádí renovace vyměnitelných břitových destiček, nástroje s kubickým nitridem bóru a polykrystalickým diamantem.

BONAR a.s. zajišťuje veškerý servis zákazníkům k dodaným výrobkům. Společnost dodává veškeré prostředky nutné pro vlastní použití destiček (držáky, podložky a další) včetně náhradních dílů a aktivně se podílí na vytváření podmínek pro zavedení technologie

obrábění **BORONIDem**, včetně praktického předvedení u zákazníka vyškoleným pracovníkem společnosti.[1]

Tendence vývoje řezných materiálů

Neustálý vývoj řezných materiálů vedl v průběhu let k podstatnému rozvoji řezných procesů tváření. Vyšší výkonnost a lepší životnost nástrojů vyrobených z těchto materiálů byly mimo jiné rozhodující pro výsledky obrábění reprodukovatelné v úzkých tolerancích s ohledem na rozměrovou a tvarovou přesnost a na kvalitu povrchu jako předpoklad pro vyměnitelnost dílů vyráběných ve velkých sériích. Výrazným znakem tohoto vývoje je také zvýšení řezných rychlostí umožněn progresivnějšími řeznými materiály.



Entwicklung der Schneidstoffe

Entwicklung der Schneidstoffe – Vývoj řezných materiálů

Keramik – keramika

Hartmetall – slinutý karbid

Werkzeugstahl – nástrojová ocel

HSS – vysokovýkonná řezná ocel

Jahr – rok

Obr. 4 Vývoj řezných materiálů [1]

Současná optimalizace materiálových vlastností obrobku ve smyslu lepšího využití dílů, které jsou z něho vyrobené, však téměř vždy podmiňuje jejich obtížnější obrobitelnost. Tradiční řezné materiály proto stále častěji dosahují svých hranic, co se týče výkonnosti, přesnosti a kvality obrábění.[1]

3. OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU

V posledním období nás postihla světová finanční krize, kterou si prošla i Česká republika. Mnoho firem bylo nuceno omezit svoji výrobu z důvodu snížení zakázek. Proto, aby se firmy dostali zpět na trh, musely snížit hodnotu produktů, s tím souvisí i náklady na výrobu, které se podílejí výrazně na ceně výrobků.

Dalším faktorem, který ovlivňuje chod firmy je konkurence. Konkurenty jsou firmy, které se snaží uspokojit stejné potřeby stejných zákazníků i jejich nabídka je stejná. Pokud chcete být silná konkurence, musíte nabídnout výhodnou cenu, ale i řádnou kvalitu.

Z těchto důvodů byla pro firmu Bonar a.s. navržena nová technologie, která by měla zajistit snížení výrobních nákladů a zjednodušení výrobního procesu při obrábění grafitu.

3.1 Grafit

Grafit, česky nazývána tuha, je stejně jako diamant chemický prvek uhlík. Od diamantu se liší tím, jak jsou v jeho struktuře poskládány jednotlivé atomy uhlíku a tím jsou také dány jeho vlastnosti, tolik odlišné od diamantu. Grafit je tvořen atomy uhlíku uspořádaných do vrstviček, které jsou mezi sebou spojeny poměrně slabou vazbou, takže díky tomu je grafit velmi měkký a velmi snadno se otírá o jiné předměty. Tato jeho vlastnost je využívána v obyčejných tužkách, jejichž grafitová psací tuha zanechává čáru na papíře.

Grafit je černošedý až černý, matný až lesklý, na omak mastný, je elektricky vodivý. Tvoří jemně lupenité, zrnité, zemité až celistvé agregáty, méně často je hrubě lupenitý, dobře omezené krystaly jsou vzácné. Ekonomicky významná jsou ložiska grafitu v regionálně metamorfovaných horninách, v nichž patrně vznikl přeměnou uhelných slojí a ložisek ropy.[2]



Obr. 5 Grafit [13]

V České republice byl grafit těžen v okolí Českého Krumlova, v Bližné od Černé v Pošumaví, od Českého Krumlova, ve Chvalovicích od Českých Budějovic, v Kolodějích nad Lužnicí s. od Týna nad Vltavou, ve Velkém Tresném od Bystřice nad Pernštejnem a v okolí Starého Města od Jeseníku. Ložiska v jižních Čechách a na Moravě jsou vázána na grafitické ruly, kvarcity, mramory a amfibolity, v nichž tvoří grafit čočkovitá tělesa.[2]



Obr. 6 Výskyt grafitu v České republice [13]

Nejhezčí vzorky grafitu pocházejí z Ragadary v oblasti Galle na Srí Lance, kde grafit tvoří žíly vysoce lesklých lupenitých agregátů uložených v souboru rul a žul. Grafit zde patrně vznikl přeměnou uhelné sloje na kontaktu se žulovým magmatem.[2]

Vlastnosti grafitu:

Grafit (A. G. Werner, 1789), chemický vzorec C, je šesterečný nebo klencový minerál. Název pochází z řeckého grafein - psát. Patří mezi nekovové minerály.[13]

Obecné:

Kategorie -minerál

Chemický vzorec -C

Identifikace:

Barva -černá až šedá

Vzhled krystalu -jemně lupenité, zrnité,
zemité až celistvé agregáty

Soustava -šesterečná

Tvrdost - 1-2

Lesk -kovově lesklý až matný

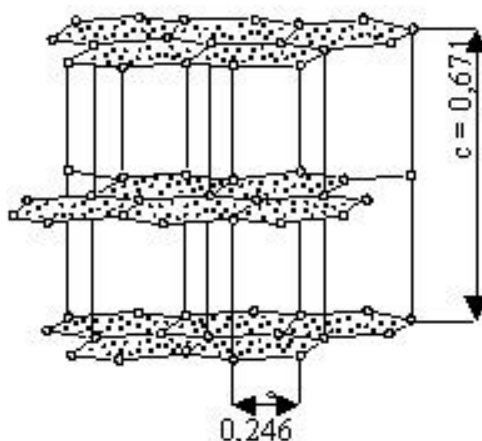
Štěpnost -velmi dokonalá podle (0001)

Vryp - tmavošedý až černý

Hustota -2,1–2,3 g/cm³

Rozpustnost -s kyselinami nereaguje

Ostatní - na omak mastný



Obr. 7 Krystalická mřížka grafitu [13]

3.2 Využití grafitu

Pro jeho vlastnosti - měkkost, snadnou opracovatelnost, elektrickou a tepelnou vodivost, žáruvzdornost a klouzavost se grafit používá v mnoha průmyslových oborech. Grafit se používá v metalurgii jako žáruvzdorný materiál, k výrobě tužek, suchých i olejových mazadel, antikoročních nátěrů, v elektrotechnice (galvanické pokovování, součástky dynam, elektrody atd.). Velké množství grafitu se vyrábí uměle z odpadů po zpracování ropy, ze sazí či z antracitu.

Při výrobě železa a oceli slouží grafit jako přísada při tavení ušlechtilých ocelí, ale i jako mazadlo odlévacích forem a spolu se šamotem a jinými keramickými hmotami při výrobě žáruvzdorných vyzdívek vysokých pecí či speciálně tvarovaných forem. Obdobně se vymazávají i formy pro lití skla. K tomuto použití se ovšem nehodí surový grafit, ale musí být po vytěžení zpracován. Grafit se drtí, mele, plaví a suší. Tímto postupem se získá koncentrát s obsahem 92 - 95 % uhlíku. Tyto koncentráty se užívají při slévání kovů. Koncentráty se dále zpracovávají alkalickým loužením, kyselým loužením a navíc několikanásobným mletím na mikromlýnech.[2]

3.3 Elektrografit

Firma BONAR a.s. používá pro výrobu topných článků Elektrografit s označením EG625, tento typ grafitu je využíván na širokou oblast v technických aplikacích.

3.3.1 Technologie výroby

Pro výrobu materiálu jsou potřebné suroviny jak grafit, koks, saze, které jsou podle stanovené receptury přemleté na požadovanou zrnitost, zhomogenizované, následně přidáné pojivo, které při zpracování teplem se překarbonizuje. Získaný materiál v práškové formě se lisuje na hydraulických lisech na různé velikosti. Vylisovaný materiál je dále tepelně zpracovaný při teplotě 1000 °C – 1500 °C.[4]



Obr. 8 Technologie výroby ELEKTROGRAFITU [4]

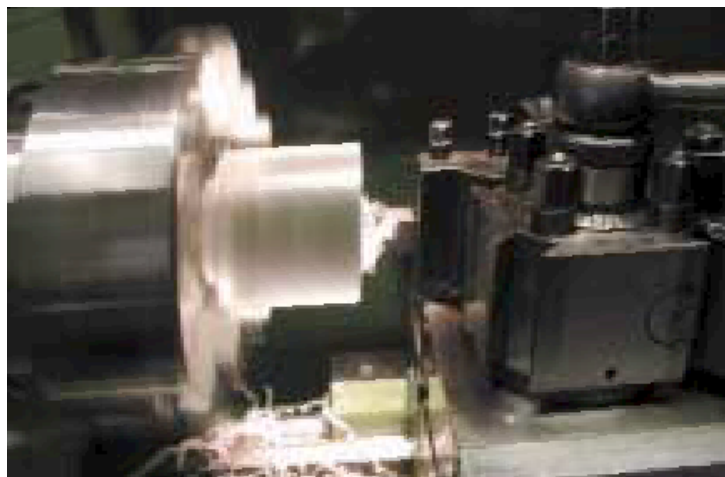
Tab. 1 Rozdělení ELEKTROGRAFITU

| Značka | Objemová hustota (min.hodn.) | Měrný el. odpor (str.hod.) | Tvrdost HRBSh (str.hod.) | Pevnost v tlaku (min.hod.) | Pevnost v ohybe (min.hod.) | Pórovitost (max.) | Tepelná vodivost (min.) | Tepelná odolnost (dl.roztl. (max.)) | Tepelná odolnost v atmosféře ochr. | Tepelná odolnost v atmosféře oxid. | Impregnaci | Aplikace |
|--------|------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------|--|
| EG 621 | 1,66 | max. 17 | 97 HR 10/100 | 70 | 30 | 14 | - | - | 2273 | 623 | | Formy na tavení kovů a formy přelísování za tepla |
| EG 624 | 1,55 | 20 | 88 HR 10/100 | - | - | - | - | - | 2273 | 673 | | Zatavovací formy pro sklářský průmysl a mikroelektroniku |
| EG 625 | 1,50 | max. 30 | 83 HR 10/60 | 25 | 12 | 30 | - | - | 2273 | 623 | | Široká oblast použití v technických aplikacích |
| EG 626 | 1,70 | max. 12 | min. 70 HR 10/60 | 50 | 20 | 20 | max. 150 | 2,2 | 2273 | 623 | | Výrobky používané v analytické chemii |
| EG 681 | 1,50 | max. 60 | 95 HR 10/60 | 45 | 17 | 22 | 23 | 2,0 | 1273 | 673 | | Strojové části pracující v kapalinách i za sucha |
| EG 682 | 1,65 | - | min. 65 Sh | 100 | 30 | 5 | - | 2,5 | 453 | 453 | | Strojové části pracující v kapalinách i za sucha |

4. PROBLEMATIKA OBRÁBĚNÍ GRAFITU

Z mechanického pohledu se grafit zpracovává velmi dobře za použití nástrojů z tvrdých kovů, jako jsou například rychlořezná ocel, karbid z wolframu nebo diamantovaný kov. Volba materiálu k použití pro opracování ovlivňuje otevřenost řezného úhlu nebo úhlu podbroušení, stejně jako i rychlost řezání. Řezný úhel se musí přibližovat k 0° a v každém případě to musí být úhel kladný, kdežto úhel podbroušení se musí nacházet kolem 9° . Dalším faktorem u těchto materiálů je životnost nástroje, ta je především ovlivněna abrazivními vlastnostmi grafitu. Pro maximální využití nástrojů a efektivitu opracování se doporučuje volit maximální posuv na zub při hrubování a při finišování by neměla tato hodnota klesnout pod 0,2 mm. Řezná rychlost se pohybuje kolem 125 a 150 m/min při soustružení a mezi 75 a 150 m/min při obrábění. Grafit se jeví jako výhodný v případě, že je nutno realizovat trojrozměrné elektrody při použití obrábění, protože při tomto opracování je řezná rychlost taková, že umožňuje pracovní dobu dokonce 10 krát nižší, než je doba potřebná pro měď. [5]

Diamantované nástroje jsou užitečné hlavně pro výrobu elektrod v sérii, s tím že potřebují úhel podbroušení i řeznou rychlost vyšší, než jsou shora uvedené hodnoty. V každém případě pomocí shora uvedených materiálů se realizují lepší úrovně přesnosti, kvality povrchu i životnosti takto získané elektrody. Tato se dobře obrušuje pomocí brusek vhodného složení, snadno se leští hliníkovým prachem zředěným ve vodě a uplatňuje se v řezání závitů jako měď. Grafitové bloky snadněji dosažitelné na trhu se mohou redukovat na požadované rozměry pomocí pásové pily. Opačně je možno nalepovat více grafitových bloků, které jsou již k dispozici, použitím lepidla a v případě, že lepidlo nebude dostatečně vodivé – vložením kovových prvků schopných zaručovat elektrickou vodivost.



Obr. 9 Obrábění soustružnickým nožem s hrotem PKD [10]

Grafit je možno zpracovávat na všech obráběcích strojích i na jiných tradičních strojích, a to s velkou přesností a nízkými tolerancemi. Ať už je proces použitého opracování jakýkoli, obrobky si uchovávají svoji rozměrovou stabilitu jak během, tak i po odebrání třísek a okrajové oblasti opracovaných povrchů nepodléhají jakékoli proměně, pokud se týká struktury i charakteristik materiálu. Grafit se musí zpracovávat za sucha: nedoporučuje se použití emulzí pro vrtání a řezání. Pokud se zde nenachází odsávací zařízení, je možné použít provizorního řešení, a to položit grafit dovnitř dielektrika stroje po dobu několika hodin, tím se sníží vytváření prachu. Ovšem při tomto způsobu zamezení prašnosti je velice nepříjemný úklid strojů, jelikož grafitová kaše je mastná a velice obtížně se odstraňuje ze strojů. Dále při obrábění na mokro se rapidně snižuje životnost nástrojů.

Závěrem je možno říct, že grafit, v porovnání s mědí, nabízí možnost snadného opracování pomocí mechanických metod, je málo podroben deformacím a je málo citelný na tepelné výkyvy. Nakolik je navíc specifická váha grafitu značně nižší, než je specifická váha mědi, umožňuje se realizace elektrod o značných rozměrech, jež jsou však poměrně lehké.[5]

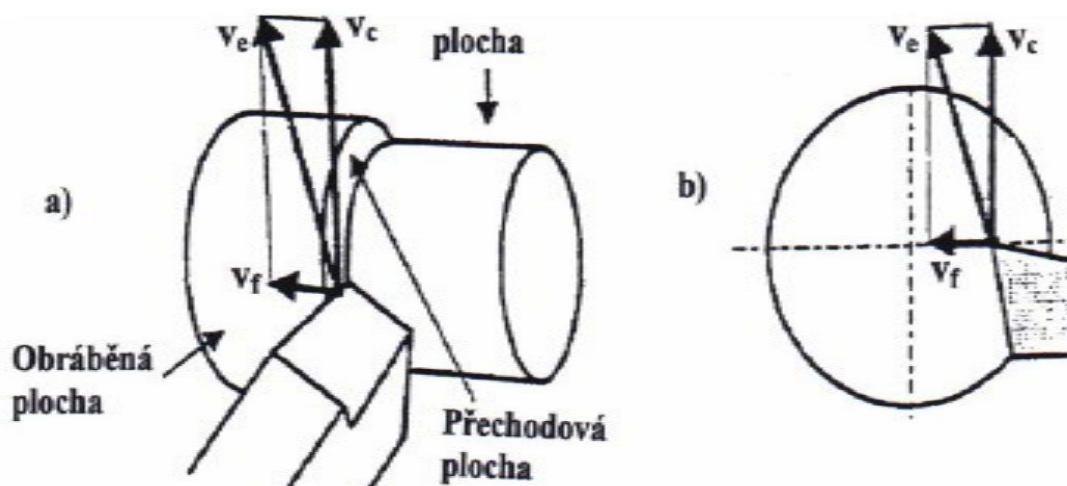
Tab. 2 Řezné podmínky při obrábění grafitu

| Opracování | Řezná rychlost | Posuv | Odebírání třísek |
|-----------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| Vrtání | 40 – 60 m/min | 0,1 – 0,2 mm/U | ----- |
| <u>VNĚJŠÍ SOUSTRUŽENÍ</u> | | | |
| Hrubování | 150-250 m/min | 0,3-0,4 mm/U | 10-20 mm |
| Dokončování | 250-400 m/min | 0,05-0,2 mm/U | 0,2-0,8 mm |
| <u>VNITŘNÍ SOUSTRUŽENÍ</u> | | | |
| Hrubování | 150-250 m/min | 0,2-0,3 mm/U | 4-8 mm |
| Dokončování | 250-400 m/min | 0,05-0,2 mm/U | 0,1-0,5 mm |
| <u>OBRÁBĚNÍ</u> | | | |
| Hrubování | 70-150 m/min | 160-400 mm/min | 5-12 mm |
| Dokončování | 120-200 m/min | 100-200 mm/min | 0,5-2 mm |
| <u>BROUŠENÍ</u> | | | |
| Hrubování | 20-30 m/sek | 200-250 mm/min | 3-5 mm |
| Dokončování | 20-30 m/sek | 200-250 mm/min | 0,02-0,3 mm |

4.1 Technologie soustružení

Soustružení je metoda obrábění, která nám slouží pro výrobu součástí převážně rotačních tvarů, zpravidla pomocí jednobřitých nástrojů různého provedení – soustružnických nožů. Patří mezi nejjednodušší způsob obrábění, ale zároveň v současnosti (na klasických strojích) nejpoužívanější (proto více než třetina obráběcích operací provádí na soustruzích). Touto metodou lze obrábět válcové, kuželové, kulové i obecné rotačních plochy, rovinné plochy i závity. Obrábění na soustruzích s ručním nebo automatickým ovládáním nám umožňuje soustružit polotovary od hmotnosti několika mg až do několika tun.[6]

Hlavním pohybem při soustružení je otáčivý pohyb obrobku. Nástroj koná vedlejší pohyby, tj. podélný posuv, rovnoběžný s osou otáčení obrobku, a příčný posuv, kolmý k ose obrobku. Výsledkem podélného posuvu je válcová plocha, výsledkem příčného posuvu je čelní rovinná plocha. Koná-li nástroj oba posuvy současně, vzniká obecná rotační plocha. Kromě posuvu koná nástroj ještě přísuv. Tímto pohybem, který probíhá před obráběním, se nastavuje požadovaná hloubka řezu.[6]



Obr. 10 Druhy soustružení a) podélné soustružení, b) čelní soustružení [6]

Řezné podmínky

Pod pojmem řezné podmínky je třeba rozumět zejména stanovení řezné rychlosti v_c , posuvu f a tloušťky obráběné vrstvy (hloubky řezu) a_p .

Řezná rychlost je v podstatě rychlost hlavního řezného pohybu a definujeme ji jako obvodovou rychlost měřenou na obráběné ploše. Pro různé druhy materiálů nástrojů a obrobků se používá i různých řezných rychlostí. Pro různé materiály obrobků jsou v rozsahu od 5 m.min⁻¹ do 1000 m.min⁻¹.

Obvodovou řeznou rychlost obrobku v místě soustružení lze určit ze vztahu:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m.min}^{-1}], \text{ kde}$$

D – průměr obráběné plochy [mm], n – počet otáček vřetene [min⁻¹].

Posuv je dráha, kterou vykoná nástroj za jednu otáčku obrobku. Při hrubování je jeho hodnota 0,4 až 5 mm, při dokončovacích operacích 0,06 až 0,3 mm a při jemném soustružení 0,005 až 0,05 mm. Protože se při soustružení nástroj posune při jedné otáčce o hodnotu posuvu, je možné stanovit rychlost posuvu v závislosti na otáčkách vřetene:

$V_f = f \cdot n$ [mm.min⁻¹], kde

f – posuv na otáčku [mm], n – počet otáček vřetene [min⁻¹].

$$V_e = \sqrt{V_c^2 \cdot V_f^2} \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$$

Hloubka řezu se při soustružení pohybuje od hodnoty několika desetin mm až po několik mm. Velikost posuvu, hloubka řezu, úhel nastavení a tvar řezné hrany v záběru mají vliv na velikost a tvar průřezu třísky. Rozměr průřezu třísky pro základní druhy soustružení lze podle obr.10 vypočítat ze vztahu:

pro podélné soustružení $a_p = 0,5 \cdot (D - d)$ [mm], kde

D – průměr obráběné plochy [mm], d – průměr obrobené plochy [mm].

pro čelní soustružení $a_p = L - l$ [mm], kde

L – délka obráběné plochy [mm], l – délka obrobené plochy [mm].

4.2 Technologie vrtání

Vrtání je obrábění, při kterém se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují díry kruhového průřezu (předvrtané, předlité, předlisované, atd.). Nástrojem je vrták, který koná hlavní pohyb - rotační. Ve výjimečných případech vykonává hlavní pohyb obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý posuvný (ve směru osy nástroje), který vykonává také nástroj. Při samotném obrábění je osa vrtáku nejčastěji kolmá k obráběné ploše.

Při vrtání záleží na tom, zda jde o díry průchozí nebo neprůchozí (slepé). Průchozí díry se z technologického hlediska obrábí poměrně snadno. U neprůchozích děr se musí brát zřetel na její zakončení, na zabezpečení přesné hloubky vrtání, na nutnost odřezávání zbytku třísky ze dna díry atd. Třísky se ze dna díry odřezávají tak, že vrták po zastavení posuvu udělá ještě několik otáček.[6]

Řezné podmínky

Řezné podmínky při vrtání se pohybují v širokém rozsahu v závislosti na druhu nástroje. Řezné rychlosti jsou v porovnání se soustružením a frézováním nižší vzhledem

k nepříznivým podmínkám, za kterých vrták pracuje. Charakteristickým rysem nástrojů na díry je, že řezná rychlost je na obvodě nástroje nejvyšší a směrem k ose nástroje klesá k nule. Za řeznou rychlost se proto považuje obvodová rychlost na maximálním průměru ostří nástroje a určujeme ji podobně jako u soustružení.[6]

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$V_f = f \cdot n \quad [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$$

$$V_e = \sqrt{V_c^2 \cdot V_f^2} \quad [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$$

D – průměr obráběné díry [mm],

n – otáčky vrtáku (případně obrobku) [min⁻¹],

f – posuv nástroje na jednu otáčku [mm].

Hodnotu posuvu na zub lze určit ze vztahu.

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}], \text{ kde}$$

z – počet zubů (břitů) nástroje

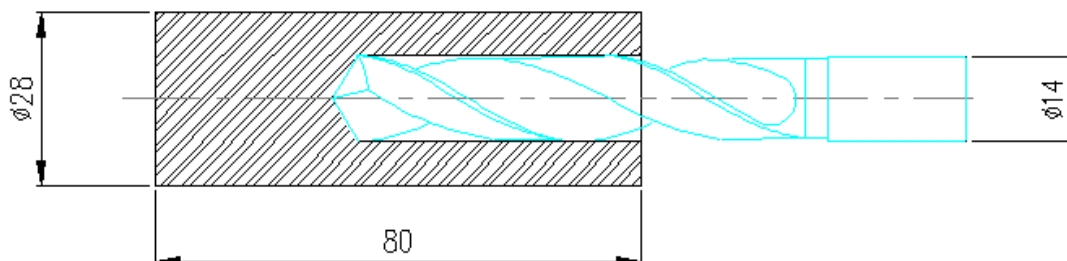
5. NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE

5.1 Obrábění grafitové součásti

Návrh nové technologie bude věnován na zhotovení vnitřního průměru grafitové součásti. Tyto součásti slouží jako topné tělísko při procesu práškové metalurgie. Do těchto komponentů jsou vkládány předlisované břitové destičky, které po procesu ve vysokotlaké syntéze získávají žádanou pevnost, tvrdost a ostatní vlastnosti. Výroba těchto břitových destiček je pro firmu nezbytně nutná, jelikož od těchto výrobků se odvíjí další procesy výroby.

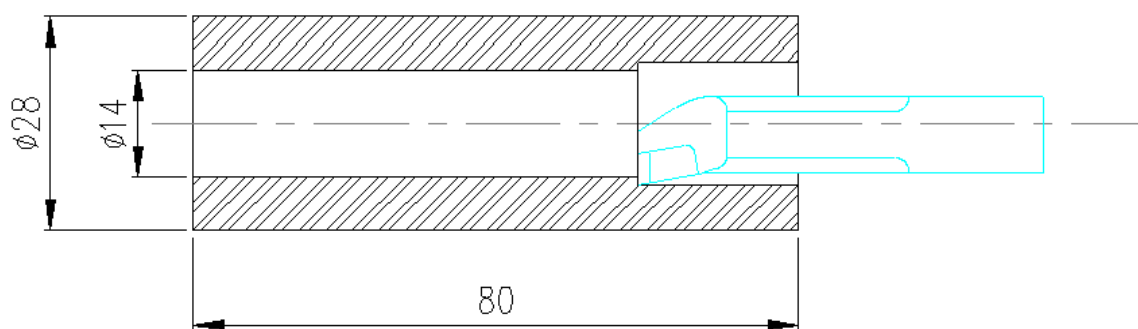
Součásti se ve firmě Bonar a.s. obrábí na konvenčním soustruhu typu D240x500 G Vario, tento typ stroje zachováme pro náš experiment.

Postup výroby stávající technologie je takový, že vnitřní průměr je nejprve hrubován za použití operace č.1 vrtáním, a poté se dokončí na hotový rozměr operací č.2 soustružením. Pro hrubovací operace vrtáním na grafitové součásti se ve firmě Bonar a.s. používá vrták z rychlořezné oceli. Tento typ vrtáku slouží k předvrtání díry na $\varnothing 14$ mm(viz.obr.č.11).



Obr. 11 Schéma operace č.1-vrtání na $\varnothing 14$ mm

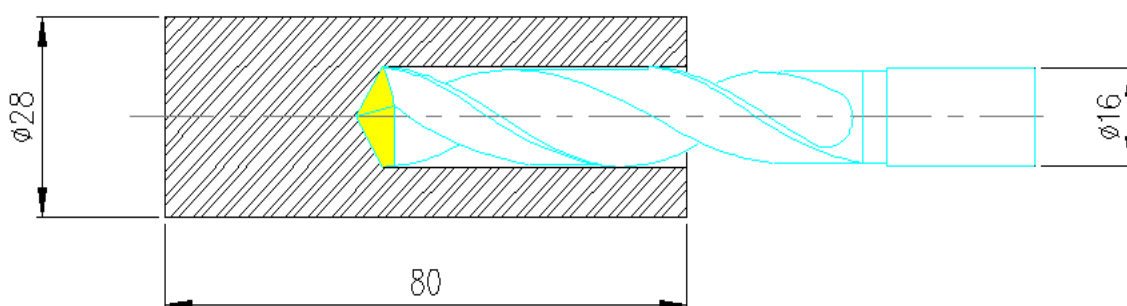
Pro vnitřní soustružení nahotovo je použit soustružnický nůž, který je osazen výměnou břitovou destičkou z SK. Tato destička disponuje dvěma řeznými hranami a slouží k dokončení vnitřního průměru 16 mm(viz.obr.č.12). V této technologii obrábění jsou použity řezné nástroje od firmy Pramet.



Obr. 12 Schéma operace č.2-vnitřní soustružení na $\varnothing 16$ mm

Navrhované nové řešení by bylo použití vrtáku $\varnothing 16$ mm, který bude osazen SK destičkou s polykrystalickým diamantem. PKD nástroje jsou vysoce odolné vůči opotřebení a dosahují až 10x delší životnosti než klasické nástroje. S delší životností nám odpadá časté měnění a následné seřizování rezných nástrojů. S těmito nástroji můžeme zrychlit nastavení parametru na obrábění, což nám přináší zrychlení výroby.

Dále nám tento nástroj zajistí větší efektivitu výroby, z důvodu nahrazení stávajícího stavu, kde jsme byli nuceni použít dvě metody obrábění. V novém řešení použijeme pouze metodu vrtání, kde nástroj bude vrtat do plného materiálu na čisto(viz.obr.č.13).

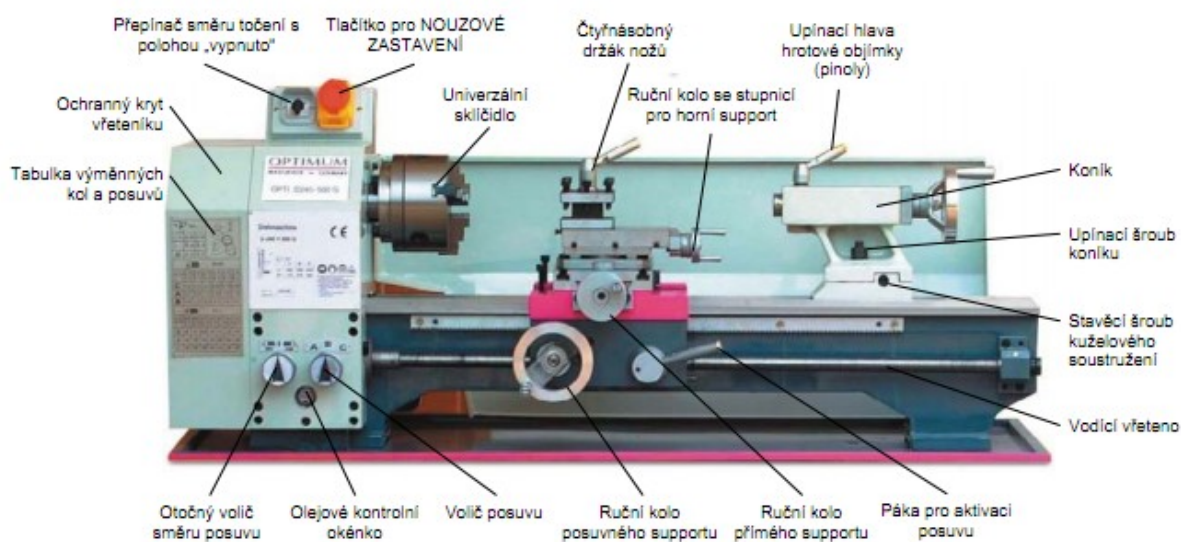


Obr. 13 Schéma nové technologie-vrtání na $\varnothing 16$ mm

5.2 Charakteristika stroje

Firma Bonar a.s. používá pro obrábění grafitu konvenční obráběcí stroje tj. stroje s ruční obsluhou. Pro náš experiment bude ze strojního vybavení firmy použit soustruh D 240x500G Vario. Tento stroj je univerzální soustruh a byl koncipován speciálně pro podélné a čelní soustružení kulatých a pravidelných 3, 6 nebo 12hraných obrobků z kovu, plastu nebo podobných materiálů.

Vrtané pracovní vřeteno umožňuje upnutí delších obrobků s průměrem do 30 mm. Změna otáček se provádí přesunutím klínového řemene na řemenicích. Ve volitelném vybavení „Vario“ lze otáčky nastavovat plynule v odpovídajících rozsazích otáček. Vodicí šroub umožňuje podélný posuv a řezání závitů. Kromě toho lze stroj s pomocí sklíčidla, upnutého v koníku, používat také k vrtání. [7]



Obr. 14 Soustruh D 240x500G Vario [7]

Konstrukční charakteristiky

- uložení vřetene s přesnými kuličovými ložisky,
- výkonný motor, nevyžadující údržbu,
- kalená špička vřetene,
- vysoká kruhovitá přesnost hlavního vřetene < 0,009 mm,
- zaoblená ozubená kola posuvové převodovky, pracující v olejové lázni,

- automaticky blokující, uzamykatelný nouzový vypínač, podpěťové vybavení,
- přepínání chodu motoru vlevo - vpravo,
- induktivně kalené prizmatické lože z šedé litiny (HRC 42 – 52), přesně broušené,
- příčný a podélný suport s rybinovým vedením a nastavovacími lištami,
- otočné stupnicové kroužky, přesnost odečítání 0,04 / 0,01 mm,
- vodicí šroub pro řezání závitů nebo posuv pro podélné soustružení se sadou výměnných kol,
- přestavitelný koník pro soustružení kónických tvarů

Tab. 3 Technická data stroje

| Technická data | |
|------------------------------|---------------------|
| Výška hrotu | 90 mm |
| Max. točný průměr | 180 mm |
| Vzdálenost mezi hroty | 300 mm |
| Šířka lože | 100 mm |
| Otáčky | 150 – 2500 ot./min |
| Plynulá změna otáček | ano |
| Počet rychlostních stupňů | 2 |
| Průchod vřetene | 21 mm |
| Kužel vřetene | MK3 |
| Posuv pinoly | 65 mm |
| Kužel pinoly | MK2 |
| Posuv podélný | 0,1 – 0,2 mm/ot. |
| Max. posuv nožového suportu | 55 mm |
| Max. posuv příčného suportu | 75 mm |
| Závit metrický | 0,5 – 3 mm/ot. |
| Závit palcový | 10 – 44 záv./1“ |
| Výška upnutí nožového držáku | 14 mm |
| Příkon | 600 W |
| Elektrické připojení | 230 V |
| Rozměry (š × v × h) | 740 × 270 × 390 mm |
| Hmotnost | 45 kg |
| Dělení noniusů | |
| Suport | 23 mm/ot. - 0,25 mm |
| Příčný suport | 2 mm/ot. - 0,05 mm |
| Nožový suport | 1 mm/ot. - 0,02 mm |
| Koník | 1 mm/ot. - 0,05 mm |

5.3 Použité nástroje

Řezné nástroje určené k obrábění grafitu jsou vybrány od výrobců Pramet Tools s.r.o. a Bonar a.s. po konzultaci v podniku. Nástroje jsou navrhnuty na základě způsobu upnutí, velikosti výrobní série, typ operace a druhu obráběného materiálu. Úlohou těchto nástrojů je dosáhnout čistě obrobené plochy s přesnými rozměry a v požadované kvalitě.

5.3.1 Nástroje z rychlořezné oceli

Obecně:

Rychlořezné oceli (RO) jsou vysoclegované nástrojové oceli, které se od ostatních druhů nástrojových ocelí liší obsahem legujících přísad a rozdílnými podmínkami tepelného zpracování. Díky tomu získávají oproti uhlíkových a legovaným nástrojovým ocelím vyšší tvrdost a odolnost proti popouštění. Disponují rovněž poměrně vysokou pevností, a tím i příznivou houževnatostí. Tvrdost 60-70 HRC si udržují až do teploty 600°C. Odtud vychází i oblast využití RO. Jde především o nástroje s přesným ostřím, jako jsou protahovací nástroje, šroubovitě vrtáky, nástroje na závity, výstružníky, frézy a tvarové soustružnické nože. Řezná rychlost se při použití těchto nástrojů pohybuje v rozsahu 20 – 80 m/min.[8]

Správná volba a optimální použití jednotlivých druhů rychlořezných ocelí má příznivý vliv nejen na výkon nástrojů z nich vyráběných, ale i na maximální využití těchto nástrojů. Vzhledem k tomu, že rychlořezné oceli patří mezi nejvíce legované nástrojové oceli a jsou tedy nejnáročnější na deficitní legující prvky, má optimální využívání rychlořezných ocelí značný technickoekonomický význam.[8]

Vrták Ø14 HSS s kuželovou stopkou

Ve stávající technologii je použit pro předvrtání Ø 16 mm vrták z rychlořezné oceli Ø 14 HSS DIN 345 s kuželovou stopkou. Vrtáky jsou doporučeny pro vrtání legované i nelegované oceli, ocelolitiny do pevnosti 900 N/mm², šedé, temperované i tvárné litiny, spékané oceli, hliníkové slitiny s krátkou třískou, bronz, houževnaté mosazi apod.[12]



Obr. 15 Vrták Ø 14 HSS s kuželovou stopkou [12]

Tab. 4 Technická data-Vrták Ø 14 HSS s kuželovou stopkou

| | |
|---|--|
| Ø D | 14,00 mm |
| L | 189 mm |
| l | 108 mm |
| Úhel šroubovice | $\lambda = 25^{\circ} \div 30^{\circ}$ |
| Úhel špičky | $\varepsilon = 118^{\circ}$ |
| Materiál | HSS - výkonná rychlořezná ocel |
| Způsob výroby | F - frézování |
| Použití Výkonné vrtáky doporučené pro vrtání v součástkách z nelegované i legované oceli, ocelolitiny do pevnosti 900 N/mm ² , šedé, temperované i tvárné litiny, spékané oceli, hliníkové slitiny s krátkou třískou, bronz. | |
| Povrchová úprava | černěno nebo pasivováno |
| Způsob ostření Form N - podbroušená kuželová plocha | |
| MORSE | 1 |
| Poznámka PROFI - nástroje vyráběné vybrušováním a přesným frézováním | |
| | |

5.3.2 Nástroje z SK

Obecně:

Slinuté karbidy (SK)-jsou dvoufázový nebo vícefázový materiál tvořený tvrdými karbidovými částicemi v kovové vazbě, připravený technologií práškové metalurgie. Mezi základní karbidy pro výrobu všech běžných slinutých karbidů pro obrábění jsou: karbid wolframu (WC) a karbid titanu (TiC), pojícím kovem je kobalt (Co). Další přísady se nejčastěji používají karbidy tantalu (TaC), niobu (NbC) a chromu (Cr_3C_2).[8]

Nepovlakované slinuté karbidy-pro řezné aplikace jsou podle normy ČSN ISO 513 označovány symboly HW a HF a podle použití jsou rozdělovány do tří skupin- P, M, K. Skupina P je označována modrou barvou, skupina M je značená žlutou barvou a skupina K červenou barvou. Základním karbidem pro výrobu všech druhů slinutých karbidů pro obrábění je karbid wolframu (WC), kobalt (Co) slouží jako pojící kov, jako další složky jsou používány karbidy titanu (TiC),tantalu (TaC),niobu (NbC) a chromu (Cr_3C_2). Z důvodu svého složení jsou nepovlakované SK někdy také označovány jako jednokarbidové(K),dvojkarbidové(P) a vícekarbidové(M). Z tohoto hlediska lze proto k jednotlivým skupinám obvykle přiřadit následující složení:

- skupina K:
 $\text{WC}(87\div 92) \% + \text{Co}(4\div 12) \% + (\text{TaC.NbC})$
- skupina P:
 $\text{WC}(30\div 82) \% + \text{TiC}(8\div 64) \% + \text{Co}(5\div 17) \% + (\text{TaC.NbC})$
- skupina M:
 $\text{WC} (79\div 84) \% + \text{TiC}(5\div 10) \% + \text{TaC.NbC}(4\div 7) \%$
 $+ \text{Co}(6\div 15) \%$

Skupina **K**-je určena pro obrábění materiálů, které vytvářejí krátkou a drobivou třísku, a to zejména pro šedé litiny, neželezné litiny a nekovové materiály. Řezné síly jsou přitom obvykle relativně nízké a převládá abrazivní a adhezní opotřebení. Karbid wolframu, který tvoří jedinou tvrdou strukturní složku této skupiny SK, má za pokojové teploty tvrdost srovnatelnou s většinou ostatních karbidů, s rostoucí teplotou její hodnota klesá rychleji než u jiných karbidů. Z tohoto důvodu nejsou slinuté karbidy skupiny K vhodné pro

obrábění materiálů, kde se tvoří dlouhá tříska, která mnohem více tepelně zatěžuje čelo nástroje.[9]

Skupina **P**-je zejména určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, jako jsou uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Řezný proces je často doprovázen velkými řeznými silami a značným opotřebením na čele, proto tato skupina SK obsahuje velké množství TiC a TaC, které zlepšují odolnost proti vymílání na čele nástroje. Vhodnost slinutých karbidů skupiny P pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, je dána také vyšší tvrdostí TiC za vyšších teplot, ve srovnání s WC.[9]

Skupina **M**-má univerzální použití a je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku, jako jsou lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Skupina M se často používá pro těžké hrubovací a přerušované řezy, vzhledem k relativně vysoké houževnatosti.[9]

Z nepovlakovaných slinutých karbidů K, P a M je pouze omezený počet druhů užíván pro lehké a dokončovací obrábění.

Povlakované slinuté karbidy-mezi nejdůležitější vývojové stupně v průmyslu slinutých karbidů během 20. století lze zařadit zavedení výroby vyměnitelných břitových destiček s tenkými povrchovými vrstvami TiC. Výroba povlakovaných slinutých karbidů je založena tak, že na podklad z běžného slinutého karbidu typu K, P nebo M se nanáší tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení. Vlastnosti povrchové vrstvy povlaku se významně podílejí na zamezení tvorby nárůstku na břitu nástroje. Metody povlakování se rozdělují do dvou základních skupin:[9]

Metoda PVD(Physical Vapour Deposition-fyzikální napařování), která je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod 500 °C). Povlak je tvořen:

- napařováním (evaporation)
- napařováním (sputtering)
- iontovou implantací (ion-plating)

Metoda CVD(Chemical Vapour Deposition-chemické napařování z plynné fáze), která probíhá za vysokých teplot (1000÷1200°C). Tato metoda se řadí mezi hlavní metodu povlakování slinutých karbidů a je realizována ve čtyřech variantách:

- tepelně indukovaná
- plazmaticky aktivovaná
- elektronově indukovaná-paprsek elektronů
- fotonově indukovaná-laserem

Soustružnický nůž S16M SCKCR 09-A s SK destičkou

Pro soustružení vnitřního průměru grafitové součásti se používá břitová destička typu CCMT 09T304 ze slinutého karbidu. Tato destička disponuje dvěma řeznými hranami a malým rádiusem špičky, který je R 0,4. Destička se v běžné výrobě používá zejména pro jemné, dokončovací soustružení a vyvrtávání. Hlavní oblast užití obráběných materiálů jsou skupiny P a K, dále pak i skupina M. Pro uchycení VBD slouží soustružnický nůž vnitřní S16M SCKCR 09-A. [11]



Obr. 16 Soustružnický nůž vnitřní S16M SCKCR 09-A [11]

Tab. 5 Technická data-Soustružnický nůž vnitřní S16M SCKCR 09-A

| ISO | Rozměry [mm] | | | | | | | | kg | ND | VBD |
|-----------------|----------------------|----|-------|------|----|------------------------|-------------------|------------------|----------|-----|------|
| | \varnothing dg7 | f | l_1 | h | b | $\varnothing D_{\min}$ | λ_s° | γ_o° | | | |
| S16M-SCKCR 09-A | 16 | 11 | 150 | 14,5 | 15 | 20 | -8 | 0 | 0,2 4 | S05 | CC.. |

γ_o° - úhel čela / uhol čela λ_s° - úhel sklonu ostří / uhol sklonu reznej hrany

5.3.3 Nástroje s připájeným PKD

Obecně:

Diamant jako nástrojový materiál je velmi vhodný k obrábění neželezných kovů a slitin (zejména hliníkových), kovových kompozitních materiálů a tvrdých a pevných nekovových materiálů, jako je keramika, grafit nebo kompozity vyztužené skelnými, uhlíkovými, aramidovými a polyetylenovými vlákny. Zejména potřeby rychle se rozvíjejícímu automobilového průmyslu, kde jsou ve velkém objemu obráběny hliníkové slitiny s vysokým obsahem křemíku, které jsou hlavním důvodem soudobého intenzivního výzkumu, vývoje a výroby diamantových nástrojů.[9]

Diamantové nástroje jsou vyráběny ve dvou základních koncepcích:

- roubík ze syntetického diamantu je připájen na břitovou destičku ze slinutého karbidu
- na nástroj nebo vyměnitelnou břitovou destičku z jiného materiálu (slinutý karbid, nitrid křemíku, karbid křemíku, sialon) je nanesen diamantový povlak zvoleného typu

Nástroje a vyměnitelné břitové destičky osazené polykrystalickým diamantem se používají pro soustružení, vrtání a frézování neželezných kovů a slitin. Stále více jsou tyto nástroje nasazovány při obrábění keramických a plastických hmot s abrazivními plnidly, slinutých karbidů, grafitu, kamene, pryže, ev. dalších kompozitních materiálů s abrazivní složkou. V dřevozpracujícím průmyslu jsou k opracování laminovaných dřevotřísek používány frézy a vrtáky osazené PKD. [8]

Při výrobě nástrojů a vyměnitelných břitových destiček osazených PKD je možno volit rozdílnou zrnitost diamantu v rozmezí 2 až 25 μm a typ vazby (kov, keramika) podle požadované aplikace. Obecně platí pravidlo, že s jemnější zrnitostí je možné získat lepší drsnost obráběného povrchu-do určité míry ovšem klesá i celková životnost nástroje. Pro výše uvedené oblasti použití byly navrženy a v praxi odzkoušeny řezné podmínky-viz tab. 6.

Tab. 6 Doporučné řezné podmínky pro nástroje a VBD osazené PKD

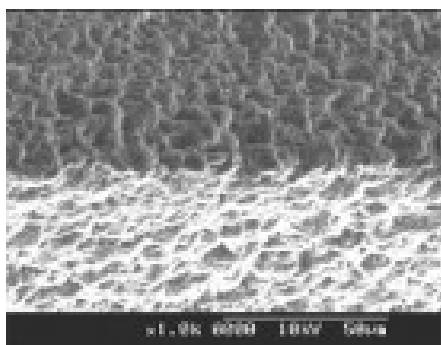
| Materiál | Rychlost [m.min⁻¹] | Hloubka řezu[mm] | Posuv [mm.ot⁻¹] | Dopor. rádius[mm] |
|----------------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| Soustružení – plynulý řez | | | | |
| Al,Cu a jejich slitiny | 300-1000 | do 10 | 0,05-0,5 | 0,2-0,8 |
| Tvrzené um.hmoty zpev.vlákna | 100-600 | do 5 | 0,05-0,5 | 0,8-1,2 |
| Keramické hmoty | 80-300 | do 2 | do 0,2 | 0,4-1,2 |
| Titanové slitiny | 50-100 | do 2 | 0,05-0,1 | 0,8-1,2 |
| Přírodní brusný kámen | 50-100 | do 2 | 0,1-0,3 | - |
| Slinutý karbid | 10-30 | do 1 | 0,1-0,2 | - |
| Frézování-přerušovaný řez | | | | |
| Al a Al slitiny | 500-3000 | do 5 | 0,1-0,5 | 0,4-1,2 |
| Cu a Cu slitiny | 200-1000 | do 2 | 0,1-0,5 | 0,4-1,2 |
| Dřevěné mat. a zpev. umělé hmoty | 200-3000 | 1-15 | 0,4-1,5 | 0,4-1,2 |

Přírodní diamant se vzhledem ke svému malému výskytu a vysoké ceně používá převážně při velmi přesném obrábění s vysokými požadavky na jakost povrchu, protože

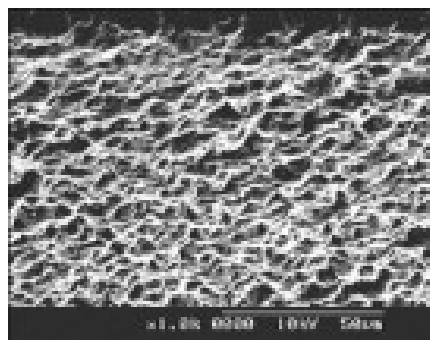
umožňuje přípravu poloměru ostří do velikosti 10nm. Soustružením se dnes např. vyrábějí rozměrná tvarová hliníková zrcadla pro kosmické účely.[8]

Vrták Ø 16 HSS s pájenými destičkami z PKD

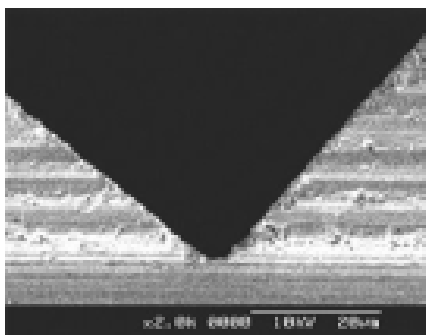
Tento vrták je zhotoven z rychlořezné oceli, který je osazen destičkami ze slinutého karbidu, jehož hlavní i vedlejší břit je tvořen PKD. Typ polykrystalického diamantu je zvolen CTB 002 s průměrnou zrnitostí 2 mikrony od firmy Element six. Tento typ PKD s jemnými diamantovými zrny je vhodný na výrobu přesných nástrojů k zajištění vysokých požadavků na povrchovou úpravu obráběného materiálu. CTB002 je doporučovaný pro komplexní nástroje, u kterých je nezbytné rozsáhlé zpracování, například profilované frézky a nástroje na řezání závitů. Je vhodný pro obrábění slitin s nízkým obsahem křemíku a hliníku. Tento typ vrtáku je vlastním produktem firmy Bonar a.s.[10]



Obr. 17 Pohled povrchu CTB 002 [10]



Obr. 18 Část špičky [10]



Obr. 19 Průřez V drážkou [10]

Tab. 7 Technická data-Vrták Ø 16 HSS s pájenými destičkami z PKD

| | |
|---|------------------------------------|
| Ø D | 16,00 mm |
| L | 218 mm |
| l | 120 mm |
| Úhel šroubovice | $\lambda = 25^\circ \div 30^\circ$ |
| Úhel špičky | $\varepsilon = 118^\circ$ |
| Materiál | HSS - výkonná rychlořezná ocel |
| Způsob výroby | F - frézování |
| Použití Výkonné vrtáky doporučené pro vrtání v součástkách z nelegované i legované oceli, ocelolitiny do pevnosti 900 N/mm ² , šedé, temperované i tvárné litiny, spékané oceli, hliníkové slitiny s krátkou třískou, bronz. | |
| Povrchová úprava | černěno nebo pasivováno |
| Způsob ostření Form N - podbroušená kuželová plocha | |
| MORSE | 1 |
| Poznámka PROFI - nástroje vyráběné vybrušováním a přesným frézováním, vrták je osazen destičkami ze slinutého karbidu, jehož hlavní i vedlejší ostří je tvořen PKD. | |

6. DISKUZE EXPERIMENTŮ

V daném experimentu porovnáváme životnost nástrojů, které máme zvolené ve dvou metodách obrábění vnitřního průměru. Ve stávajícím řešení jsou zvolené dva nástroje, první pro vrtání-vrták Ø14 z rychlořezné oceli a druhý pro soustružení-soustružnický nůž s SK destičkou. V novém řešení je zvolen nástroj na vrtání-vrták Ø16 osazený PKD. Tyto nástroje porovnáváme na obráběcím stroji-konvenční soustruh D 240x500 G Vario. Při obrábění vzniká grafitový prach, proto je nutno použít odsávací zařízení-průmyslový odsavač patronový POC 20.

6.1 Zkouška nástrojů

V první metodě budeme zkoušet dva řezné nástroje, první zkoušený nástroj je vrták Ø14 z rychlořezné oceli. Nástroj při obrábění byl schopen obrobit 58 kusů grafitových součástí. Opotřebení tohoto vrtáku po obrobení 58 kusů bylo natolik velké, že nástroj nebyl schopen dále obrábět. V tab. 8 je možné vidět, za jakých řezných podmínek nástroj obráběl.



Obr. 20 Tělo vrtáku Ø14 mm [1]

Tab. 8 Řezné podmínky při vrtání

| Způsob obrábění | Otáčky | Posuv | Řezná rychlost |
|-----------------|----------------|--------------|------------------------|
| Vrtání | 620 ot. / min. | 0,14 mm / ot | 40 m.min ⁻¹ |

Dále v této metodě používáme další nástroj pro soustružení, a to soustružnický nůž S16M SCKCR 09-A s SK destičkou, tímto nástrojem bylo docíleno vlivem životnosti této destičky obrobění 70 kusů do úplného opotřebení. Řezné podmínky tohoto nástroje jsou uvedeny v tab. 9.



Obr. 21 Soustružnický nůž S16M SCKCR 09-A s SK destičkou [1]

Tab. 9 Řezné podmínky při vnitřním soustružení

| Způsob obrábění | Otáčky | Posuv | Řezná rychlost |
|-------------------|----------------|--------------|-------------------------|
| Vnitřní soustruž. | 620 ot. / min. | 0,14 mm / ot | 250 m.min ⁻¹ |

Ve druhé metodě slouží k obrábění pouze jeden řezný nástroj, jedná se o vrták Ø16 osazený PKD, tento nástroj za daných řezných podmínek (tab. 10) dokázal obrobit 840 kusů. Po obrobění těchto kusů nebyl nástroj k obrábění dále schopen. Tento nástroj se z hlediska obrobených kusů jeví jako nejvýhodnější. Porovnání výsledku jsou zaznamenány v tab. 11.



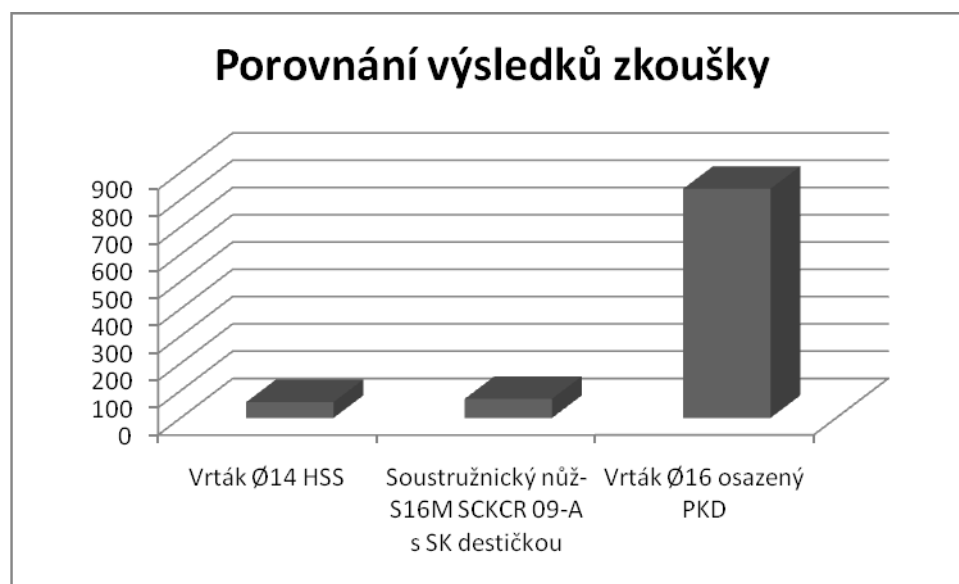
Obr. 22 Tělo vrtáku Ø16 mm osazený PKD [1]

Tab. 10 Řezné podmínky při vrtání

| Způsob obrábění | Otáčky | Posuv | Řezná rychlost |
|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------|
| Vrtání | 1000 ot. / min. | 0,3 mm / ot | 300 m.min ⁻¹ |

Tab. 11 Porovnání výsledků

| | Metoda č. 1 | | Metoda č. 2 |
|-------------------------|--------------------|---|--------------------------|
| Název nástroje | Vrták Ø14 HSS | Soustružnický nůž- S16M SCKCR 09-A s SK destičkou | Vrták Ø16 osazený PKD |
| Výsledek zkoušky | 58 kusů | 70 kusů | 840 kusů |



Obr. 23 Graf porovnání výsledků zkoušky

7. TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

7.1 Výpočet nákladů zkoušených nástrojů

Výpočet nákladů provedeme pro dvě metody obrábění vnitřního průměru součástí. Budeme počítat náklady na nástroje a strojní náklady. Náklady na výměnu nástrojů počítat nebudeme, jelikož čas výměny nástroje je tak krátký, že jeho náklady jsou zanedbatelné. Na konci výpočtů uvedeme celkovou srovnávací tabulku nákladů a úspor.

Náklady na nástroje: (A)

1. Metoda

Nástroj: Vrták Ø14 z rychlořezné oceli

| | | | | | |
|--|------|---|-----|---|--------------------|
| Použitá legenda: | | | | | |
| A ₁ -Roční náklady na nástroje | | | | | |
| B ₁ -Roční produkce obrobených kusů.....2800 kusů | | | | | |
| C ₁ -Náklady na nástroje/obrobek | | | | | |
| D ₁ -Počet obrobených kusů.....58 kusů | | | | | |
| E ₁ -Cena nástroje za kus.....203 Kč | | | | | |
| Náklady na nástroj / obrobek - C | E | : | D | = | C |
| | 203 | : | 58 | = | 3,5 |
| | | | | | |
| Roční náklady na nástroje - A | B | * | C | = | A |
| | 2800 | * | 3,5 | = | <u>9800</u> |

Nástroj: Soustružnický nůž S16M SCKCR 09-A s SK destičkou

| | | | | | |
|--|------|---|------|---|--------------------|
| Použitá legenda: A ₂ -Roční náklady na nástroje B ₂ -Roční produkce obrobených kusů..... 2800 kusů C ₂ -Náklady na nástroje/obrobek D ₂ -Počet obrobených kusů..... 70 kusů E ₂ -Cena VBD za kus..... 160 Kč F ₁ -Náklady na řeznou hranu G ₁ -Počet řezných hran na destičce..... 2 | | | | | |
| Náklady na řeznou hranu – F | E | : | G | = | F |
| | 160 | : | 2 | = | 80 |
| | | | | | |
| Náklady na nástroj / obrobek – C | F | : | D | = | C |
| | 80 | : | 70 | = | 1,14 |
| | | | | | |
| Roční náklady na nástroje - A | B | * | C | = | A |
| | 2800 | * | 1,14 | = | <u>3200</u> |

2. Metoda

Nástroj: Vrták Ø16 osazený PKD

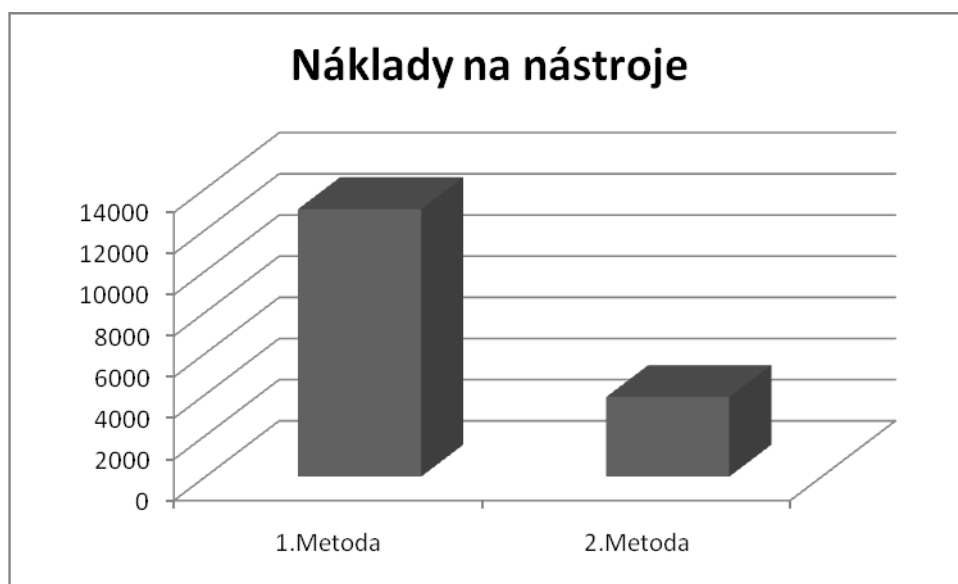
| | | | | | |
|---|------|---|------|---|-----------------------|
| Použitá legenda: A ₃ -Roční náklady na nástroje B ₃ -Roční produkce obrobených kusů..... 2800 kusů C ₃ -Náklady na nástroje/obrobek D ₃ -Počet obrobených kusů..... 840 kusů E ₃ -Cena nástroje za kus..... 1160 Kč | | | | | |
| Náklady na nástroje / obrobek – C | E | : | D | = | C |
| | 1160 | : | 840 | = | 1,38 |
| | | | | | |
| Roční náklady na nástroje - A | B | * | C | = | A |
| | 2800 | * | 1,38 | = | <u>3866,66</u> |

Roční úspora nákladů na nástroje:

1. Metoda: $A_{1,2} = A_1 + A_2 = 9800 + 3200 = 13000$

2. Metoda: $A_3 = 3866,66$

Celková úspora: $A = A_{1,2} - A_3 = \underline{\underline{9133,34 \text{ Kč}}}$



Obr. 24 Graf srovnání nákladů na nástroje

Strojní náklady: (H)

1. Metoda

Nástroj: Vrták Ø14 z rychlořezné oceli

| | | | | | | | |
|---|------|---|------|---|----|---|--------------------|
| Použitá legenda: H ₁ -Strojní náklady za rok B ₁ -Roční produkce obrobených kusů..... 2800 kusů I ₁ -Náklady na Obrábění J ₁ -Hlavní strojní čas (min)..... 0,42 K ₁ -Hodinová sazba stroje..... 320 Kč | | | | | | | |
| Náklady na obrábění - I | J | * | K | : | 60 | = | I |
| | 0,42 | * | 320 | : | 60 | = | 2,24 |
| | | | | | | | |
| Strojní náklady za rok - H | B | * | I | | | = | H |
| | 2800 | * | 2,24 | | | = | <u>6272</u> |

Nástroj: Soustružnický nůž S16M SCKCR 09-A s SK destičkou

| | | | | | | | |
|---|------|---|------|---|----|---|--------------------|
| Použitá legenda: H ₂ -Strojní náklady za rok B ₂ -Roční produkce obrobených kusů..... 2800 kusů I ₂ -Náklady na Obrábění J ₂ -Hlavní strojní čas (min)..... 0,54 K ₂ -Hodinová sazba stroje..... 320 Kč | | | | | | | |
| Náklady na obrábění - I | J | * | K | : | 60 | = | I |
| | 0,54 | * | 320 | : | 60 | = | 2,88 |
| | | | | | | | |
| Strojní náklady za rok - H | B | * | I | | | = | H |
| | 2800 | * | 2,88 | | | = | <u>8064</u> |

2. Metoda

Nástroj: Vrták Ø16 osazený PKD

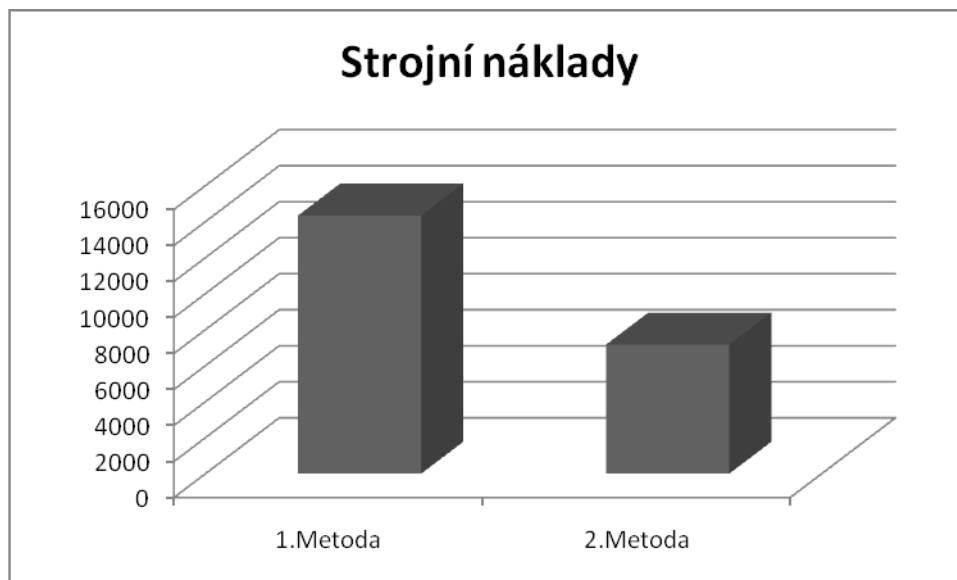
| | | | | | | | |
|---|------|---|------|---|----|---|--------------------|
| Použitá legenda: H ₃ -Strojní náklady za rok B ₃ -Roční produkce obrobených kusů..... 2800 kusů I ₃ -Náklady na Obrábění J ₃ -Hlavní strojní čas (min)..... 0,48 K ₃ -Hodinová sazba stroje..... 320 Kč | | | | | | | |
| Náklady na obrábění - I | J | * | K | : | 60 | = | I |
| | 0,48 | * | 320 | : | 60 | = | 2,56 |
| | | | | | | | |
| Strojní náklady za rok - H | B | * | I | | | = | H |
| | 2800 | * | 2,56 | | | = | <u>7168</u> |

Roční úspora strojních nákladů:

1. Metoda: $H_{1,2} = H_1 + H_2 = 6272 + 8064 = 14336$

2. Metoda: $H_3 = 7168$

Celková úspora: $A = A_{1,2} - A_3 = \underline{\underline{7168 \text{ Kč}}}$

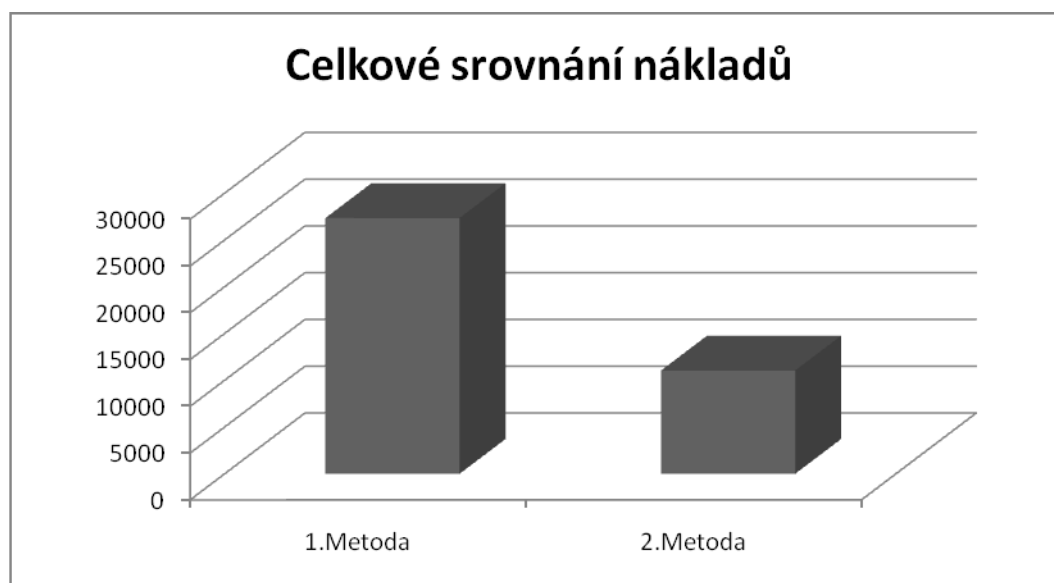


Obr. 25 Graf srovnání strojních nákladů

Celkové srovnání nákladů:

Tab. 12

| | 1.Metoda | 2.Metoda | Úspory |
|-------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Náklady na nástroje - A | 13000 | 3866,66 | 9133,34 |
| Strojní náklady - H | 14336 | 7168 | 7168 |
| Součet - Σ | 27336 | 11034,66 | 16301,34 |



Obr. 26 Graf celkového srovnání nákladů

8. ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývala porovnání dvou metod obrábění, ve kterých disponují 3 typy nástrojů, a následné jejich ekonomické vyhodnocení.

V úvodu práce je zachycen popis firmy Bonar a.s, která mi poskytla veškeré informace ohledně obrábění grafitu, dále je popsán jejich sortiment výrobků.

Obrábění bylo prováděno na stroji D 240x500G Vario, jedná se o konvenční soustruh s ruční obsluhou, který se ve firmě Bonar a.s používá pro obrábění grafitových součástí. Jako obrobek je právě zvolen, tato grafitová součást, která slouží jako topné těleso do vysokotlaké syntézy. Na tomto obrobku se obrábí několik částí a více druhů obrábění.

Pro naše zkoušení jsem se zaměřil na opracování vnitřního průměru, kde jsme použili dvě metody obrábění. V první metodě se použili dva nástroje, a to vrták Ø14 mm z rychlořezné oceli pro vrtání, pro soustružení byl použit soustružnický nůž S16M SCKCR 09-A s SK destičkou. V další metodě obrábění byla navrhnutá nová technologie za použití jednoho nástroje pro vrtání, a to vrták Ø16 mm osazený PKD.

Po provedení zkoušek nástrojů a následné provedení propočtů jsem zjistil, že navrhnutá nová technologie(2.metoda) se jeví jako vhodná pro nahrazení stávajícího stavu(1.metoda). Výpočet byl proveden na zjištění nákladů na nástroje, kde u druhé metody roční úspora činila 9133,34 Kč. Dále jsou vypočteny strojní náklady, kde roční úspora byla 7168 Kč, opět u druhé metody. Po sečtení těchto propočtů by celková roční úspora činila 16301,34 Kč.

Seznam použité literatury:

- [1] Propagační materiály firmy Bonar a.s.
- [2] Velebil, Dalibor. Geologie, meralogie a historie dolování. *Grafit* [online]. Vydání 2007-2008. Dostupné na < <http://www.velebil.net/minerality/grafit>>
- [3] Internetové stránky firmy ELEKTROKARBON a.s.
< <http://www.elektrokarbon.sk/php/uhlikovevyrobky.php?lang=SK>>
- [4] Internetové stránky firmy Kompozitum s.r.o.
<<http://www.kompozitum.sk/flash/>>
- [5] Jenis, Jiří. Obrábění grafitových elektrod. *Obecné charakteristiky grafitu* [online]. Vydání 2001. Dostupné na <http://www.atiur.cz/grafit_technol.htm>
- [6] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007 .
- [7] Bow spol. s.r.o. Optimum Maschinen. *Návod k obsluze*. Vydání 2003. Dostupné na <http://czeso.cz/data2/opti/Soustruh_D%20280x700%20G.pdf>
- [8] MRKVICA I.: Návod ke cvičení z obráběcích nástrojů 1.část. Skripta VŠB, Ostrava, 2008. ISBN 978 – 80 – 248 – 1053 – 9.
- [9] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [10] Internetové stránky firmy Element Six
< <http://www.e6.com/en/>>
- [11] Pramet Tools s.r.o., Katalog firmy Pramet. *Soustružení 2010* [online]. Vydání 2010. Dostupné na <<http://www.pramet.com/index2fa9.html?lang=cz>>
- [12] Internetové stránky firmy M&V
< <http://katalog.mav.cz/categories.php>>
- [13] Internetové stránky Wikipedia
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Grafit>>

Seznam příloh

| Číslo | Název | Počet stran |
|--------------|---------------------------|--------------------|
| 1 | Výkres grafítové součásti | 1 |